新疆喀什噶尔河流域平原区地下水 TDS 分布及其成因①

王红太[1]，周金龙[1,2]，曾妍妍[1,2]，张杰[1,2]，魏兴[1,2]，陈劲松[1]

(1.新疆农业大学水利与土木工程学院，新疆 乌鲁木齐 830052；2.新疆水文水资源工程技术研究中心，新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要：基于新疆喀什噶尔河流域平原区 2014 年 74 组地下水水质检测结果，运用克里格插值法、Gibbs 图、离子比值法、矿物饱和指数法，揭示地下水中 TDS 分布特征及其成因。结果表明：研究区潜水中 TDS 介于 354.80~6505.00 mg·L^{-1}，平均值为 1 994.36 mg·L^{-1}，无盐水分布，总体表现为西高东低，水化学类型主要为 SO_4·Cl-Na·Ca·Mg、HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg 和 HCO_3·SO_4-Ca·Mg；承压水中的 TDS 普遍较高，介于 214.00~14 548.00 mg·L^{-1}，平均值为 2 480.30 mg·L^{-1}，其分布特征总体表现为南高北低，水化学类型以 SO_4·Cl-Na·Ca·Mg、HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg 及 SO_4-Na·Ca·Mg 为主。控制本区地下水 TDS 的主要机制为自然地理因素、岩石风化作用、蒸发浓缩作用、矿物溶解作用及人类活动。

关键词：地下水；TDS；蒸发浓缩；矿物溶解；喀什噶尔河流域；新疆

地下水是干旱区农业灌溉水的主要来源，地下水中盐分积累过高会导致土壤次生盐碱化，不仅严重损害土壤的生产能力，影响到农业生产，还会使得生态环境恶化影响经济发展[1]。TDS 反映地下水中含盐量的高低[2]，影响地下水中 TDS 的机制包括可溶性矿物的溶解、蒸发浓缩过程、离子交换吸附作用、人类活动(过度开采地下水、农业灌溉和化肥)等[3-7]。研究地下水 TDS 分布及其成因，对防治地下水污染、合理规划和利用地下水资源具有重要意义。

喀什噶尔河流域平原区地处新疆西南部，深居欧亚大陆腹地，远离海岸线，气候干燥，区域内水资源量较为丰富，但时空分布不均匀，是我国水质型缺水地区之一。魏兴等[8]研究表明，喀什地区存在中盐度及高盐度浅层地下水；曾妍妍等[9]研究表明，喀什噶尔河流域 TDS 超标率达 69.2%；周金龙等[10]研究表明，塔里木盆地中盐度地下水占平原区总面积的 30.6%，以上研究对喀什噶尔河流域平原区地下水整体的 TDS 分布及成因关注较少。本文在分析研究区地下水 TDS 整体分布的基础上，重点从自然地理因素、蒸发浓缩作用、岩石风化作用、阳离子交替吸附作用、矿物溶解作用及人类活动影响方面，揭示喀什噶尔河流域平原区地下水中 TDS 的成因。

1 研究区与研究方法

1.1 区域及水文地质概况

喀什噶尔河流域总面积 8.18×10^4 km^2，属于暖温带大陆性干旱气候，降水稀少，水文循环缓慢[11]。流域地势总体为西高东低，北依天山西段南坡，西临帕米尔高原，南靠昆仑山北麓，东面开口朝向塔克拉玛干大沙漠，海拔 500~7 559 m，其地貌类型主要为构造剥蚀中高山、构造剥蚀低山丘陵、山麓斜坡堆积山前冲洪积平原和河流堆积冲积平原[12]。

① **收稿日期：**2019-09-25；**修订日期：**2019-12-27

基金项目:国家自然科学基金项目（41662016）资助

作者简介:王红太（1995-），女，硕士研究生，主要从事干旱区地下水资源评价与保护.E-mail: whtwanx@163.com

通讯作者:周金龙.E-mail:zjzhoujl@163.com

喀什噶尔河流域平原区主要含水层系统为第四系松散岩类孔隙含水岩系，存在两类含水岩组(图1)：①上更新统冲洪积层含水岩组，山前冲洪积平原带岩性以卵砾石和砂卵砾石为主，山前冲洪积平原及冲积平原接触带岩性主要为砂卵砾石和砂砾石，地下水类型均为单一结构潜水；②上更新统-全新统冲积层含水岩组，以砂砾石、砾砂、中粗砂、中细砂、粉细砂、亚黏土等组成，地下水类型为多层结构的潜水-承压水[13]。地下水径流方向总体为自西向东，地下水主要接受大气降水入渗补给、河道水入渗补给、渠系渗漏补给、水库入渗补给、地下水侧向径流、井泉水回归入渗补给、农田灌溉入渗补给等[8]。地下水排泄方式主要为侧向径流排泄、潜水蒸发蒸腾、泉水排泄和人工开采等[14]。

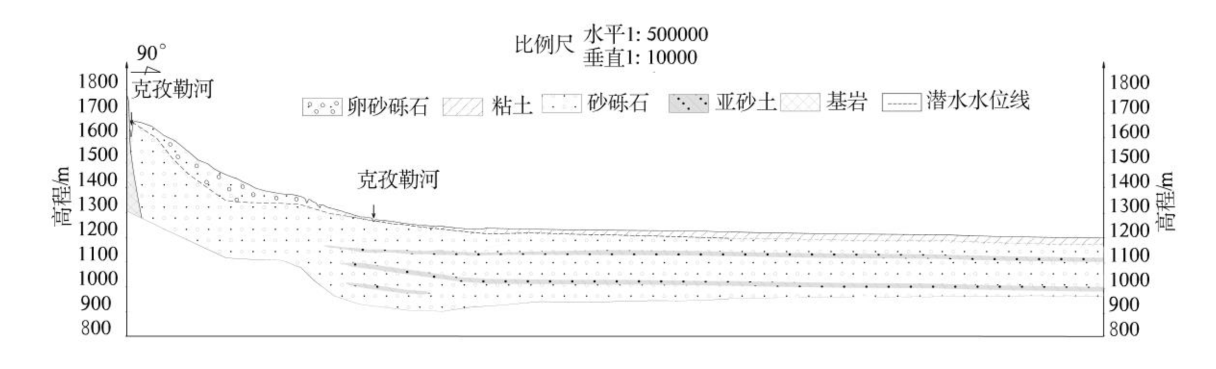


图 1 喀什噶尔河流域平原区水文地质剖面图

Fig. 1 Hydrogeological profile in the plain of Kashgar River Basin of Xinjiang

1.2 样品采集与处理

课题组于 2014 年 6－7 月在喀什噶尔河流域平原区采集地下水样品 74 组(图 2)，其中 21 组潜水样品，53 组承压水样品。水样的采集、样品保存及送检过程遵照《HL/T164—2004 地下水环境监测技术规范》。

现场利用哈纳(HANNA)HI98121 笔式测定仪测试 pH 指标，实验室进行 Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^+、SO_4^{2-}、Cl^-、TDS、NO_3^-、HCO_3^-等指标的测试。水样测试由中国地质科学院水文地质环境地质研究所矿泉水检测中心完成。采用火焰原子吸收分光光度法测定水样中 K^+和 Na^+含量，采用乙二胺四乙酸二钠滴定法测定水样中 Ca^{2+}、Mg^{2+}和 HCO_3^-含量，采用硝酸银容量法测定水样中 Cl^-含量，采用硫酸钡比浊法测定水样中 SO_4^{2-}含量；所有离子检测下限均为 0.05 $mg\cdot L^{-1}$。TDS 使用电子天秤 MP8-1 测定，检测下限为 0.1 $mg\cdot L^{-1}$。采用紫外分光光度法测定水样中 NO_3^-含量，检测下限为 0.02 $mg\cdot L^{-1}$。水样测试数据结果采用阴阳离子平衡法检验可靠性，计算公式为电价平衡差(NICB)=$(TZ^+-TZ^-)\times100/(TZ^++TZ^-)$，其中 TZ^+为阳离子总毫克当量浓度[$TZ^+=\rho(Na^+)+\rho(K^+)+\rho(Ca^{2+})+\rho(Mg^{2+})$]，$TZ^-$为阴离子总毫克当量浓度[$TZ^-=\rho(Cl^-)+\rho(HCO_3^-)+\rho(CO_3^{2-})+\rho(SO_4^{2-})$]，误差计算结果绝对值均小于 5%，测试结果可靠可用于进一步的分析。

1.3 数据处理方法

鉴于以下两个方面的原因，可以认为研究区地下水监测井水质季节性变化较小，可以利用代表性年份的一期水质检测结果代表年平均水质状况。①在单一结构潜水区，潜水埋深一般大于 15 m，稀少的降水入渗补给对地下水水质不会产生影响；河水入渗补给仅影响河道两岸的地下水水质，地下水水

质监测井一般位于河道 3~5 km 以外，河水入渗补给对监测井的地下水水质也不会产生明显影响。②在承压水区，监测井一般为承压水，由于上覆隔水顶板的阻隔，渠系水、灌溉水、降水入渗不会对承压水水质产生直接影响。

测试数据由 Excel 进行整理及统计；利用 MapGIS 6.7 软件绘制地下水采样点分布图；利用 Grapher 11 软件绘制 Piper 三线图、Gibbs 图及离子比例图；利用 AquaChem 3.7 中的 phreeqc 模块计算饱和指数。

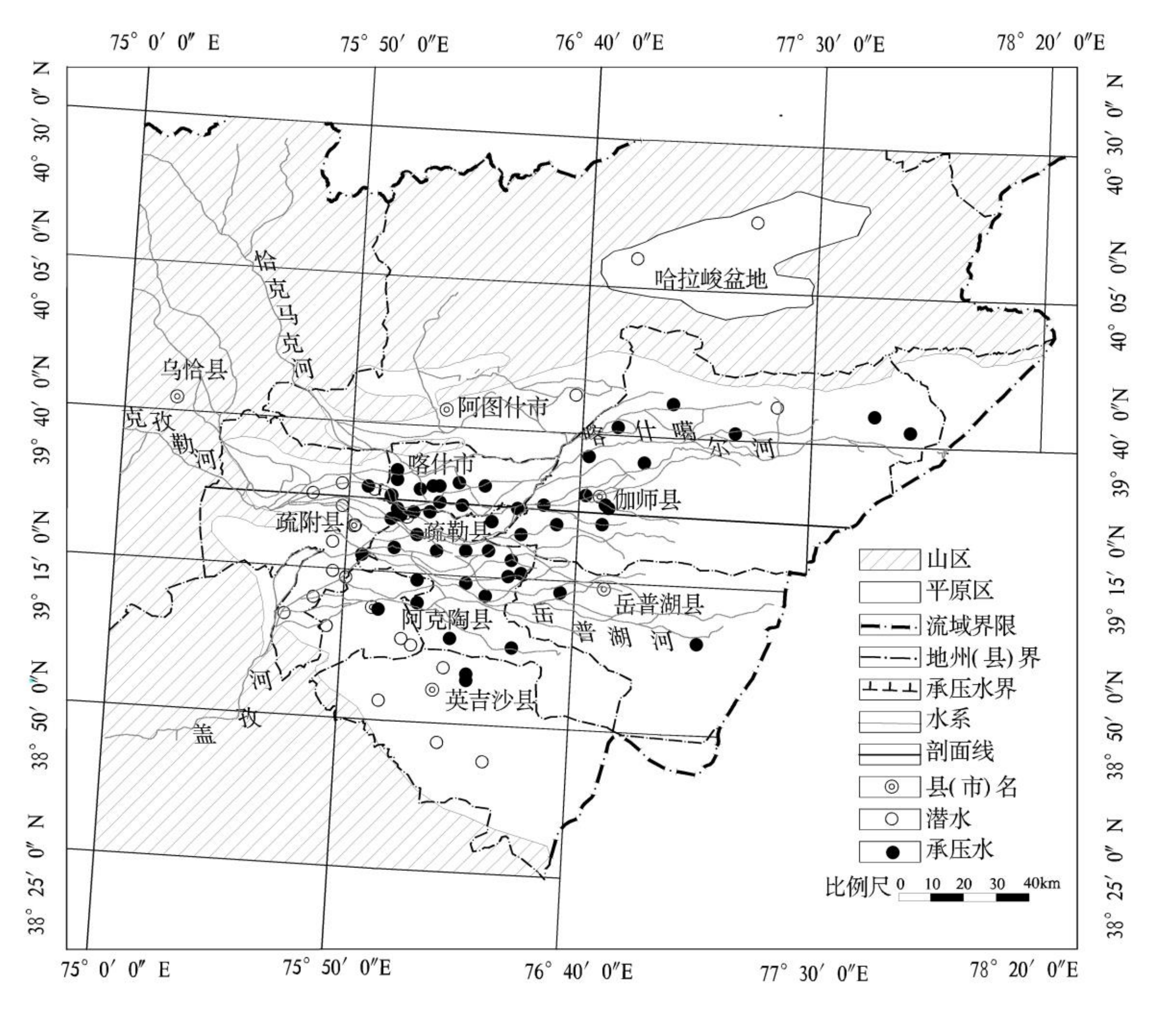


图 2 喀什噶尔河流域平原区地下水采样点分布

Fig.2 Distribution of groundwater sampling locations in the plain of Kashgar River Basin

2 结果与讨论

2.1 地下水水化学类型、pH 值及主要离子含量空间分异特征

潜水水化学类型以 SO_4·Cl-Na·Ca·Mg、HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg 及 HCO_3·SO_4-Ca·Mg 为主。pH 介于 6.99~9.93(表 1)，水样大多呈弱碱性，变异系数为 8.7%，空间分布变化不大；K^+、Ca^{2+}、HCO_3^-和 TDS 的变异系数为 50.5%~98.6%，属于中等变异性，表明潜水中 K^+、Ca^{2+}、HCO_3^-和 TDS 局部富集程度高，空间分布上存在一定的起伏；Na^+、Mg^{2+}、Cl^-和 SO_4^{2-}的变异系数为 103.0%~133.5%，属于强变异性，表明潜水中 Na^+、Mg^{2+}、Cl^-和 SO_4^{2-}含量在空间的分布极不均匀。

承压水水化学类型以 SO_4·Cl-Na·Ca·Mg、HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg 及 SO_4-Na·Ca·Mg 为主。pH 介于 6.61~8.35(表 1)，变异系数为 4.9%，空间分布变化不大；K^+、Mg^{2+}、Cl^-和 HCO_3^-的变异系数范围为 74.4%~96.5%，属于中等变异性，空间分布上存在一定的起伏；TDS、Na^+、Ca^{2+}和 SO_4^{2-}的变异系数为 106.3%~182.7%，属于强变异性，空间分布极不均匀。

表 1 地下水中主要化学特性及离子含量统计值

Table 1 Main chemical characteristics and ion content statistics of groundwater

地下水类型		pH	TDS	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
			/(mg·L^{-1})							
潜水	平均值	7.84	1994.36	12.76	318.92	187.77	119.48	401.32	807.46	250.63
	最大值	9.93	6505.00	38.94	1374.00	606.80	427.60	2055.00	2902.00	652.70
	最小值	6.99	354.80	4.39	26.90	55.54	28.46	22.87	96.24	72.85
	标准差	0.68	1967.21	10.22	396.34	135.77	123.88	535.95	831.63	126.62
	变异系数	8.7	98.6	80.1	124.3	72.3	103.7	133.5	103.0	50.5
承压水	平均值	7.52	2480.30	16.38	406.73	423.11	222.39	143.95	525.55	1029.61
	最大值	8.35	14548.00	71.78	3644.00	3686.40	753.10	571.50	5865.00	3734.00
	最小值	6.61	214.00	1.58	10.15	14.11	43.05	10.95	15.76	60.59
	标准差	0.37	2636.83	14.45	617.33	625.80	165.50	138.96	959.97	892.11
	变异系数	4.9	106.3	88.2	151.8	147.9	74.4	96.5	182.7	86.6

2.2 地下水 TDS 空间分布特征

地下水 TDS＜1 000 mg·L^{-1}为淡水，1 000≤TDS＜3 000 mg·L^{-1}为微咸水，3 000≤TDS＜10 000 mg·L^{-1}为咸水，TDS≥10 000 mg·L^{-1}为盐水[15]。研究区潜水 TDS 介于 354.80~6 505.00 mg·L^{-1}，平均值为 1 994.36 mg·L^{-1}，自西向东呈高低值相间分布(图 3a)，潜水中淡水发育，主要分布于山前冲洪积砾质平原西部、哈拉峻盆地内细土平原东部及河流冲积平原上部、中部；微咸水沿山前地带呈新月形分布，分布于英吉沙县南部、阿克陶县东部、疏附县东部、疏勒县北部、喀什市西部、阿图什市(西南部、中部)及伽师县北部；咸水分布于英吉沙县西北部、阿克陶县西南部、疏勒县西北部、疏附县东部及阿图什市中部；不存在盐水。潜水 TDS 分布特征总体表现为西高东低。

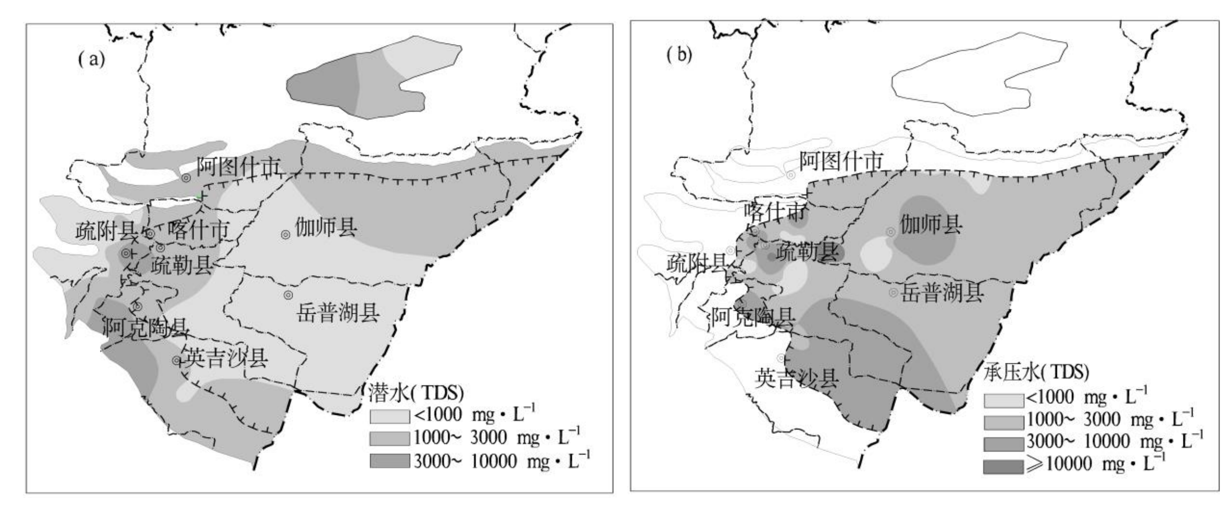


图 3 喀什噶尔河流域平原区地下水 TDS 空间分布

Fig.3 Spatial distribution of TDS in the plain of Kashgar River Basin

承压水中 TDS 普遍较高，且明显高于潜水中的 TDS(图 3b)，介于 214.00~14 548.00 mg·L^{-1}，平均值为 2 480.30 mg·L^{-1}。承压水中淡水较少，分布于疏勒县北部及伽师县(北部、西南部)，喀什市南部、疏附县东部、阿克陶县东部也有少量分布；微咸水大面积分布于河流冲积平原北部及中部；咸水分布于伽师县的西南部、喀什市中部、阿克陶县东部、英吉沙县东部和疏勒县的北部；盐水分布于疏勒县北部、伽师县西南部。承压水 TDS 分布特征总体表现为南高北低。

2.3 地下水 TDS 成因分析

2.3.1 自然地理因素

研究区地表水与地下水联系密切[16]，北部哈拉峻盆地内平原区地下水主要接受诸溪流水入渗补给，诸溪流水矿化度较低，且靠近硝尔库勒盐湖，潜水矿化度自东向西逐渐增大[17]。北部恰克马克河矿化度 764.50~928.94 mg·L^{-1}，中部克孜勒河矿化度 617.27~950.69 mg·L^{-1}，南部盖孜河矿化度 200.10~396.64 mg·L^{-1}，均属于淡水，水质较好，英吉沙-疏勒-喀什市-伽师一带存在大面积盐化土，地表水流经这些盐化土将盐分溶解带入水中，补给地下水，山前冲洪积砾质平原自西向东，含水层厚度逐渐增加，地下水径流条件变差，潜水矿化度增加，局部地区受强蒸发浓缩作用出现咸水[18]。冲积细土平原区潜水埋深较浅，更为直接的接受大气降水及地表水补给，淡水分布广泛[13]。研究区承压水主要接受冲洪积砾质平原地下水侧向径流补给，承压水环境封闭，水岩作用时间长，地下水矿化度较高[19]。

2.3.2 蒸发浓缩作用

吉布斯根据 TDS 与 $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$、TDS 与 $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$的浓度关系图给出了控制地下水化学的三个自然机制：蒸发浓缩型、岩石风化型及大气降水控制型[20]。研究区地下水样品水化学组成几乎全部落在分布模型内(图 4)，主要分布于蒸发浓缩及岩石风化控制带，无样品处于大气降水控制带，表明该区地下水组分受岩石风化和蒸发浓缩双重作用影响，受到人类活动影响较小，基本不受大气降水影响[21]。特别是承压水中 TDS 与 $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$的相关性较差，分布范围较广，表明径流过程中发生了阳离子交替吸附作用[22]。

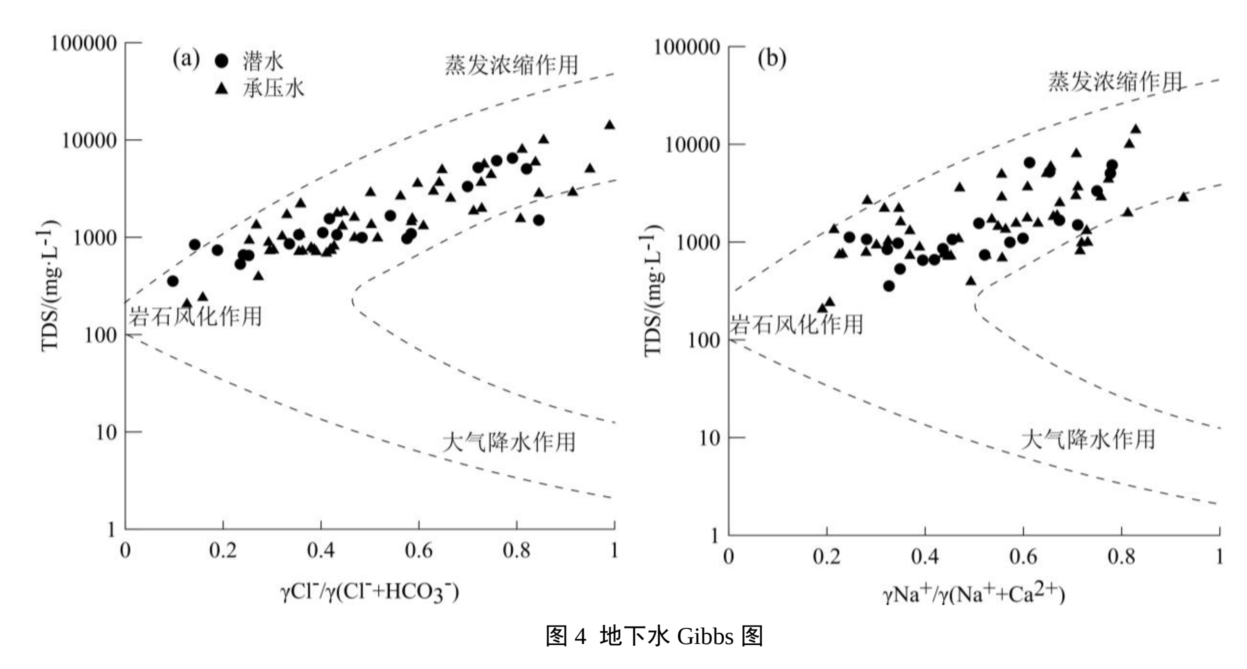


图 4 地下水 Gibbs 图

Fig.4 Gibbs diagram of groundwater

2.3.3 阳离子交替吸附作用

从图 5a 可以看出，地下水中大部分点于落于平衡线上方，少部分点落于平衡线下方，表明地下水中碱离子主要来源于岩盐矿物及硅酸盐矿物溶解[23-24]。由图 5b 可以看出，地下水中 γ(Ca^{2+}+Mg^{2+})值大部分落于 1:1 平衡线的下方，表明地下水中 Ca^{2+}、Mg^{2+}、HCO_3^-和 SO_4^{2-}主要来源于碳酸盐岩与硫酸盐矿物的溶解，需要 Na^+来保持平衡；少部分点落于平衡线上方，表明地下水中可能发生阳离子交替吸附作用，使得 Na^+置换 Ca^{2+}、Mg^{2+}离子，表现为 Ca^{2+}、Mg^{2+}离子过剩[25]。氯碱指数〔CAI=γ(Cl^--Na^+-K^+)/γ(Cl^-)〕与 TDS 的关系图反映阳离子交替吸附作用的发生方向(图 5c)，地下水中 CAI 值大部分小于 0，仅个别点大于 0，表明含水介质主要发生正向离子交换[22,26]。从图 5d 可以得出，随着 TDS 的增加，(Na^++K^+)/阳离子的毫克当量百分比表现为增加趋势，(Ca^{2+}+Mg^{2+})/阳离子的毫克当量百分比表现为下降趋势，表明含水介质发生阳离子交替吸附作用，Ca^{2+}、Mg^{2+}被固相吸附，Na^+、K^+则被释放到水中，使得地下水 TDS 升高[27]。

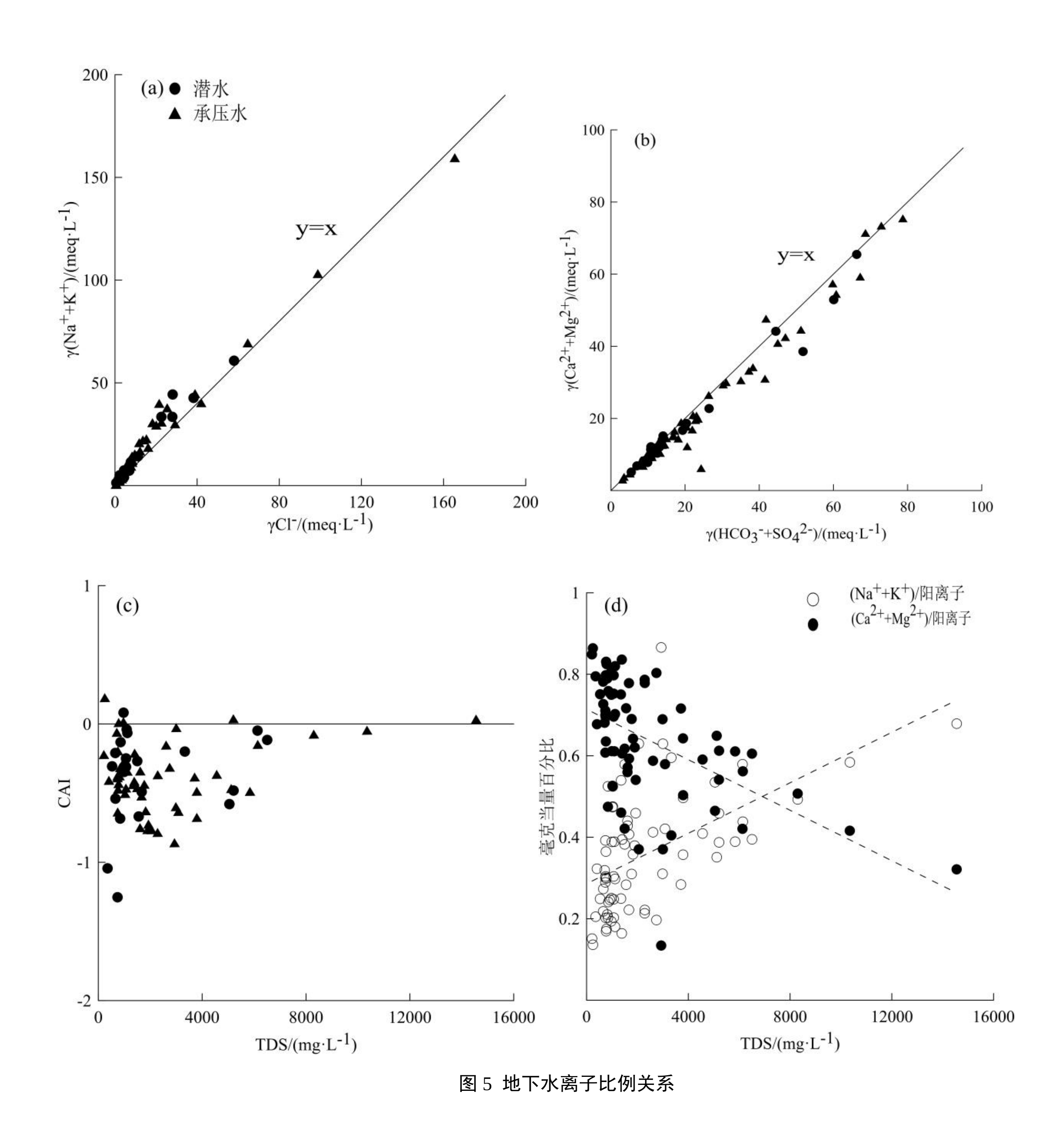


图 5 地下水离子比例关系

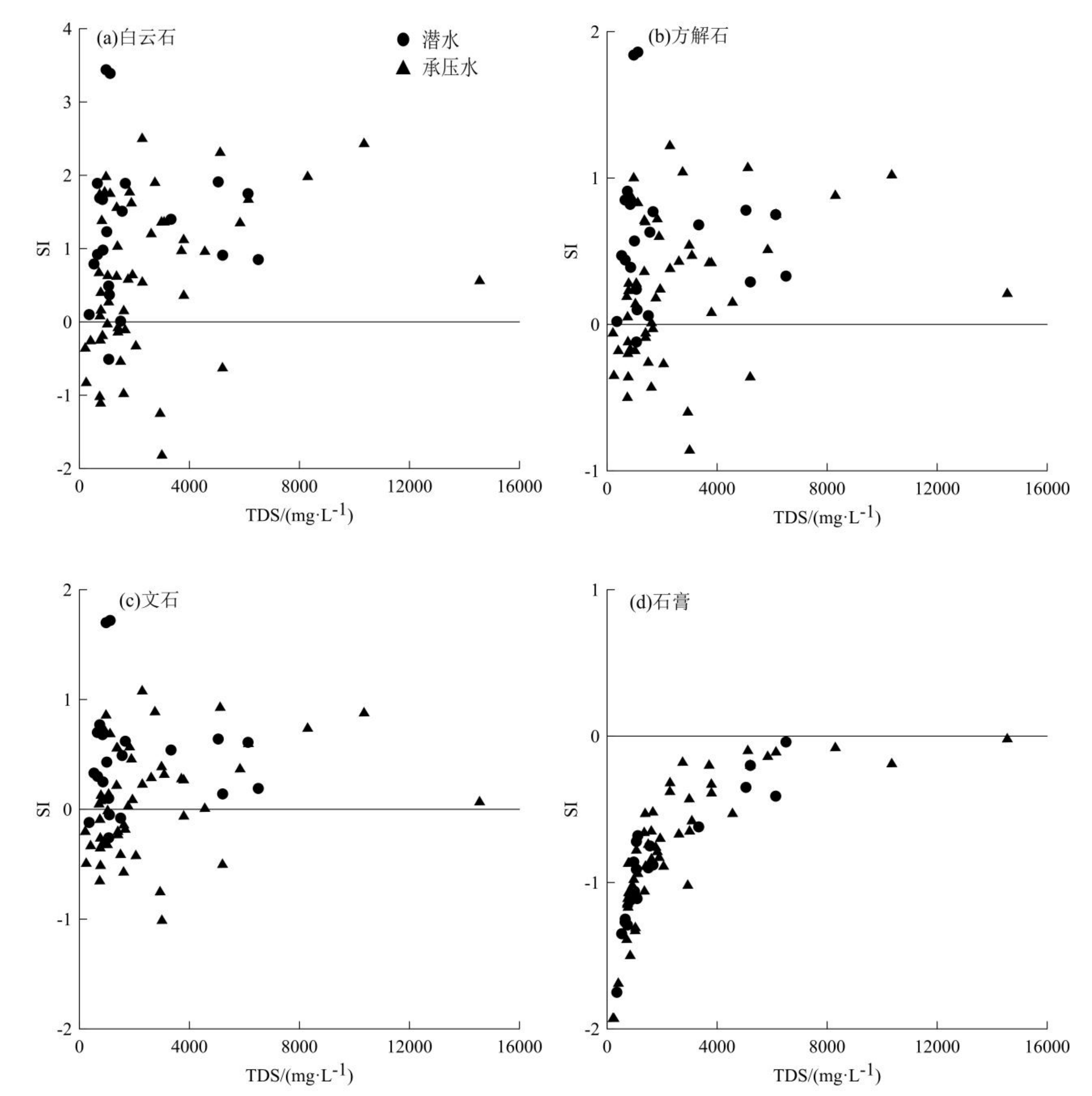
Fig.5 Relationships between the ratios of the selected ions of groundwater

2.3.4 *矿物沉淀溶解作用*

地下水中 K^+、Ca^{2+}、Na^+、Mg^{2+}及 HCO_3^-等离子一般来源于矿物溶解，而矿物溶解需要消耗大量的 CO_2 和 HCO_3^-。研究区水系发达，位于水系附近的含水层，地下水交替强烈，河水中大量的 CO_2 和 HCO_3^-补给到地下水中，为矿物的溶解提供了物质基础[3,7]。

饱和指数(SI)一般可用作判断矿物的饱和状态，当水中矿物 SI<0 时，矿物发生溶解作用，处于不饱和状态；当 SI>0 时，矿物发生沉积作用，处于饱和状态[8,28]。研究区内白云石的 SI 介于-1.80~3.44(图 6a)，平均值为 0.80，74.3%的地下水 SI>0；方解石的 SI 介于-0.85~1.86(图 6b)，平均值为 0.36，74.3%

的地下水 SI>0；文石的 SI 介于-1.00~1.72(图 6c)，平均值为 0.22，64.9%的地下水 SI>0。因此，推测研究区地下水中有较多的文石、方解石和白云石沉积。石膏的 SI 介于-0.92~-0.01(图 6d)，平均值为-0.80；硬石膏的 SI 介于-2.41~-0.22(图 6e)，平均值为-1.02；岩盐的 SI 介于-8.35~-3.45(图 6f)，平均值为-5.99。石膏、硬石膏、岩盐均处于不饱和状态，且随着 TDS 的增大而增大，表明地下水中 TDS 增加的可能来源于石膏、硬石膏及岩盐矿物的溶解。



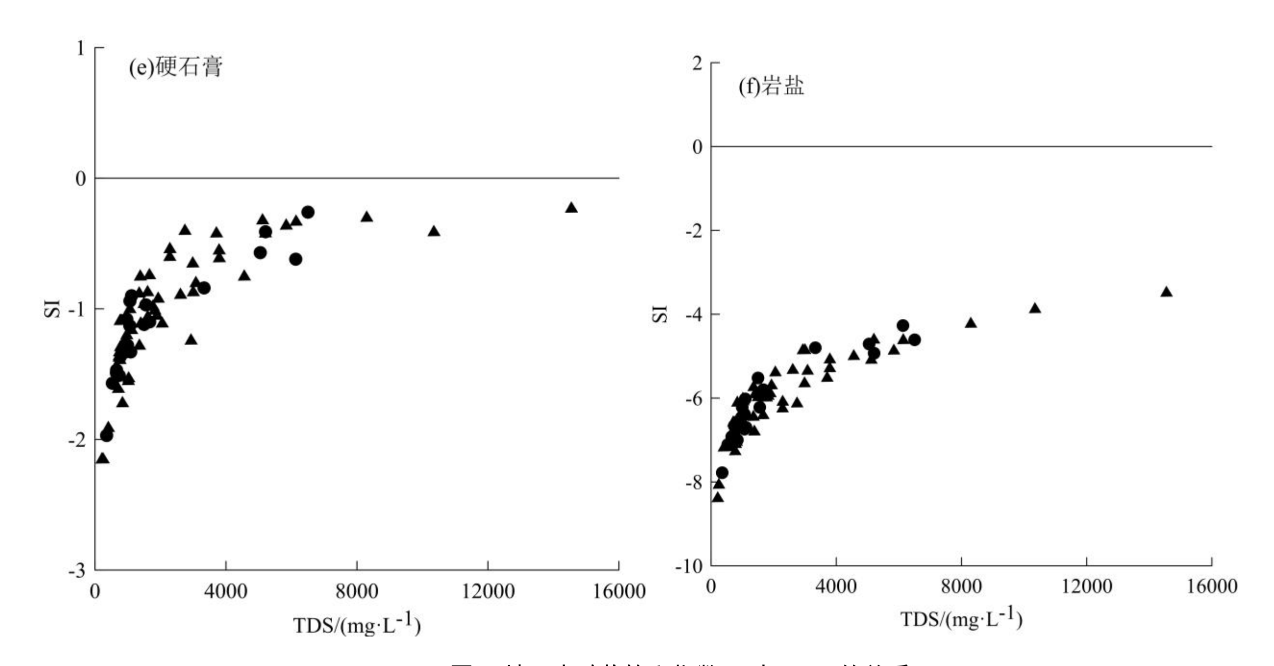


图 6 地下水矿物饱和指数(SI)与 TDS 的关系

Fig.6 Relationship between the mineral saturation index(SI) and TDS of groundwater

2.3.5 人类活动影响

据《新疆维吾尔自治区水资源公报(2003—2014)》数据显示，喀什地区 2014 年地下水开采量为 21.68 ×10^8 m^3，较 2003 年增加 17.89×10^8 m^3，较 2013 年增加 2.25×10^8 m^3，开采量增加，使包气带厚度增加，增加了地下水补给时间及路线，加剧了包气带易溶盐的淋滤，导致地下水 TDS 增加[29-30]。人类活动对地下水硝酸盐污染有着显著贡献，通常认为地下水中硝酸盐浓度大于 3 mg·L^{-1} 是受人类活动(农业活动、生活活动和工业活动)引起的，NO_3^-的浓度高低可判断地下水受到人类活动影响程度[31]。研究区是新疆主要的农业灌溉区，为实现农业增产，当地一直大量施用化肥农药，且据《新疆维吾尔自治区水资源公报》数据显示，2014 年喀什地区废污水总量 6 090×10^4 t[29]。依据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)，研究区地下水可根据 NO_3^-(以 N 计)含量分为 3 类，Ⅰ类地下水(≤2 mg·L^{-1})共计 64 组(占 86.5%)；Ⅱ类地下水(2.0~5.0 mg·L^{-1})共计 8 组(占 10.8%)；Ⅲ类(5~20 mg·L^{-1})共计 2 组(占 2.7%)，说明地下水受到一定的人类活动影响。由图 7 可知，单一结构潜水分布于山前冲洪积平原，生活及农业污染源较少，NO_3^-含量较低，受人类活动影响较小；部分承压水受人类活动影响较大，可能由于成井工艺不规范及长期使用报废井和劣质井开采，使农业区受农业面源污染较重的潜水混入承压水，导致承压水受到 NO_3^-污染[32]。

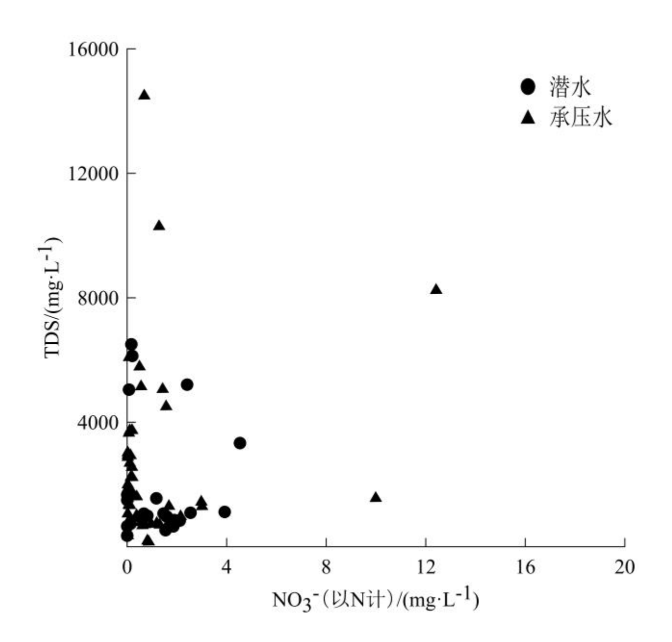


图 7 地下水中 NO_3^-与 TDS 的关系

Fig.7 Relationship between NO_3^- and TDS in groundwater

3 结论

（1）研究区潜水中淡水主要分布于山前冲洪积砾质平原西部、哈拉峻盆地内细土平原东部及河流冲积平原上、中部；微咸水分布于英吉沙县南部、阿克陶县东部、疏附县东部、疏勒县北部、喀什市西部、阿图什市(西南部、中部)及伽师县北部；咸水分布于英吉沙县西北部、阿克陶县西南部、疏勒县西北部、疏附县东部及阿图什市中部；不存在盐水。承压水中淡水分布于疏勒县北部及伽师县(北部、西南部)，喀什市南部、疏附县东部、阿克陶县东部也有少量分布；微咸水大面积分布于河流冲积平原北部及中部；咸水分布于伽师县西南部、喀什市中部、阿克陶县东部、英吉沙县东部和疏勒县北部；盐水分布于疏勒县北部、伽师县西南部。

（2）喀什噶尔河流域平原区潜水 pH 介于 6.99~9.93，水化学类型主要以 SO_4·Cl-Na·Ca·Mg、HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg 及 HCO_3·SO_4-Ca·Mg 为主。承压水 pH 介于 6.61~8.35，水化学类型以 SO_4·Cl-Na·Ca·Mg、HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg 及 SO_4-Na·Ca·Mg 为主。

（3）研究区地下水 TDS 主要受到自然地理因素、岩石风化作用、蒸发浓缩作用、矿物溶解作用和人类活动影响。研究区含水介质主要发生正向阳离子交替吸附作用，地下水中有较多的文石、方解石和白云石沉积，TDS 增加可能来源为石膏、硬石膏及岩盐矿物的溶解。

参考文献(References)

[1] 古丽格娜·哈力木拉提,木合塔尔·吐尔洪,于坤,等.喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(1):169-173.[Guligena Halimuladi, Mugedaer Tuerhong, Yu Kun, et al. Analysis on the characteristics of saline soil on Kashghar river valley [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012,26(1):169-173.]

[2] Salama R B, Otto C J, Fitzpatrick R W. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization[J].

Hydrogeology Journal, 1999,7(1):46-64.

[3] 王旭虎,徐先英,柴成武,等.民勤绿洲苦咸水空间分布及成因分析[J].干旱区研究,2014,31(2):193-200.[Wang Xuhu, Xu Xianying, Chai Chengwu, et al. Spatial distribution of brackish groundwater and its formation causes in the Minqin Oasis in lower reaches of the Shiyang River[J]. Arid Zone Research, 2014,31(2):193-200.]

[4] 张智雄,许模,张强,等.绵阳红层地区浅层地下水水化学特征、成因及水质分析[J].科学技术与工程,2018,18(3):168-173.[Zhang Zhixiong, Xu Mo, Zhang Jiang, et al. Hydrogeochemistry, genesis and waterquality analysis of shallow groundwater in red-bed area of the Mianyang city[J]. Science Technology and Engineering, 2018,18(3):168-173.]

[5] 温小虎,仵彦卿,苏建平,等.额济纳盆地地下水盐化特征及机理分析[J].中国沙漠,2006,26(5):836-841.[Wen Xiaohu, Wu Yanqing, Su Jianping, et al. Groundwater salinization characteristics and mechanism in Ejin Basin[J]. Journal of Desert Research, 2006,26(5):836-841.]

[6] 李成城.运城盆地高氟地下咸水成因机制研究[D].武汉:中国地质大学,2018.[Li Chengcheng. Genesis of High Fluoride Saline Groundwater in Yuncheng Basin, Northern China[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.]

[7] 张传奇,温小虎,高猛,等.莱州湾东岸地下水化学及盐化特征[J].海洋通报,2014,33(5):584-591.[Zhang Chuanji, Wen Xiaohu, Gao Meng, et al. Hydrochemical characteristics and salinization characteristics of groundwater in the east coast of the Laizhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2014,33(5):584-591.]

[8] 魏兴,周金龙,贾瑞亮,等.喀什地区不同 TDS 浅层地下水分布及资源量估算[J].节水灌溉,2017,(9):51-54.[Wei Xing, Zhou Jinlong, Jia Ruiliang, et al. Distribution and resource estimation of shallow groundwater with different TDS in Kashgar Region of Xinjiang[J]. Water Saving Irrigation, 2017,(9):51-54.]

[9] 曾妍妍,周殷竹,周金龙,等.新疆喀什地区西部地下水质量现状评价[J].新疆农业大学学报,2016,39(2):167-172.[Zeng Yanyan, Zhou Yanzhu, Zhou Jinlong, et al. Assessment of groundwater quality status in western Kashgar, Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2016,39(2):167-172.]

[10] 周金龙,吴彬,王毅萍,等.新疆塔里木盆地平原区中盐度地下水分布及其质量评价[J].中国农村水利水电,2009,9(9):32-36.[Zhou Jinlong, Wu Bin, Wang Yiping, et al. Distribution and quality assessment of medium salinity groundwater in Plain Areas in Tarim Basin, Xinjiang[J]. China Rural Water and Hydropower, 2009,9(9):32-36.]

[11] 艾克热木·阿布拉.喀什噶尔河流域人工-天然绿洲转化过程分析[J].水利规划与设计,2018,(3):67-70.[Aikeremu Abula. Analysis of the transformation process of artificial to natural oasis in Kashgar River Basin[J]. Water Resources Planning and Design, 2018,(3):67-70.]

[12] 蒋海英,黄劲柏.喀什噶尔河流域水资源利用现状及对策[J].水利技术监督,2019,(2):53-55.[Jiang Haiying, Huang Jinbai. Present situation and countermeasures of water resources utilization in Kashgar River Basin[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2019,(2):53-55.]

[13] 乃尉华,史杰,王文科,等.喀什平原区地下水氢氧稳定同位素分布特征及意义[J].新疆地质,2018,36(2):266-270.[Nai Weihua, Shi Jie, Wang Wenke, et al. Distribution characteristics and its significance of hydrogen and oxygen stable isotopes in groundwater in Kashgar Plain[J]. Xinjiang Geology, 2018,36(2):266-270.]

[14] 文婷.基于 GIS 和分形理论的喀什噶尔河水土流失空间分布研究[J].水资源开发与管理,2018,(12):16-19.[Wen Ting. Study on spatial distribution of water soil erosion in Kashgar river based on GIS and fractal theory[J]. Water Resources

Development and Management, 2018,(12):16-19.]

[15] 周海玲.大同盆地地下水系统中碘的迁移富集过程和外源有机碳输入的影响[D].武汉:中国地质大学,2018.[Zhou Hailin. Study on the Migration and Enrichment of Iodine and the Impact of Exogenous Organic Carbon in the Groundwater System of Datong Basin, China[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.]

[16] 陈小兵,周宏飞,张学仁,等.新疆喀什噶尔冲积平原区地下水水化学特征[J].干旱区地理,2004,27(1):75-79.[Chen Xiaobing, Zhou Hongfei, Zhang Xueren, et al. Chemical characteristics of groundwater in Kashgaer Alluvial plain,Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2004,27(1):75-79.]

[17] 曾远.阿图什市农村饮水安全工程问题研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.[Zeng yuan. Study on Security for Drinking Water Project in Rural Areas of Atushi City[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2014.]

[18] 乃尉华,常志勇,陆成新,等.新疆喀什经济开发区水文地质环境地质调查评价[M].北京:地质出版社.2017.[Nai Weihua, Chang Zhiyong, Lu Chengxin, et al. Hydrogeological Environmental Geological Survey and Evaluation in Kashi Economic Development Region, Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological publishing house, 2017.]

[19] 李文江.新疆喀什经济开发区地下水文过程及高硫酸盐形成机制研究[D].西安:长安大学,2016.[Li Wenjiang. Groundwater Hydrological Process and Sulfate Formation Mechanism in Kashi Economic Development Region, XinJiang, China [D].Xi’an: Chang’an University, 2016.]

[20] Gibbs J R. Mechanisms controlling world water chemistry[J]. Science, 1970,170(3962):1088-1090.

[21] 柳凤霞,史紫薇,钱会,等.银川地区地下水水化学特征演化规律及水质评价[J].环境化学,2019,38(9):2055-2066.[Liu Fengxia, Shi Ziwei, Qian Hui, et al. Evolution law of groundwater hydrochemical characteristics and water quality evaluation in Yinchuan area [J]. Environmental Chemistry, 2019,38(9):2055-2066.]

[22] 崔小顺,郑昭贤,程中双,等.塔城盆地北区承压地下水化学特征及其形成机制[J].南水北调与水利科,2019,17(5):148-155.[Cui Xiaoshun, Zheng Zhaoxian, Cheng Zhongshuang, et al. Hydrochemical distribution characteristic and evolution mechanism of confined water in the north of Tacheng Basin [J]. South-to-north Water Transfers and Water Science & Technology, 2019,17(5): 148-155.]

[23] 张艳,吴勇,杨军,等.阆中市思依镇水化学特征及其成因分析[J].环境科学,2015,36(9):3230-3237.[Zhang Yan, Wu Yong, Yang Jun, et al. Hydrochemical characteristic and reasoning analysis in Siyi Town, Langzhong City[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2015,36(9):3230-3237.]

[24] 任孝宗,李建刚,刘敏,等.浑善达克沙地东部地区天然水体的水化学组成及其控制因素[J].干旱区研究,2019,36(4):791-800.[Ren Xiaozong, Li Jiangang, Liu Min, et al. Hydrochemical composition of natural waters and its affecting factors in the east Hunshandak Sandy Land[J]. Arid Zone Research, 2019,36(4):791-800.]

[25] 李会亚,冯起,陈丽娟,等.民勤绿洲灌区地下水水化学特征及其演化驱动机理[J].干旱区研究,2017,34(4):733-740.[Li Huiya, Feng Qi, Chen Lijuan, et al. Hydrochemical characteristics and evolution mechanism of groundwater in the Minqin Oasis[J]. Arid Zone Research,2017,34(4):733-740.]

[26] Schoeller H. Qualitative Evaluation of Ground Water Resources[M]//Schoeller H. Methods and Techniques of Groundwater Investigation and Development. UNESCO, Paris, 1967.

[27] 邵跃杰,罗光明,王建,等.新疆克里雅河上游主要离子化学特征及其成因[J].干旱区研究,2018,35(5):1021-1029.[Shao Yuejie, Luo Guangming, Wang Jian, et al. Hydrochemical characteristics and formation causes of main ions in water of the

Keriya River, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2018,35(5):1021-1029.]

[28] Yaouti F E, Mandour A E, Khattach D, et al. Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): a geostatistical, geochemical, and tomographic study[J]. Applied Geochemistry, 2009,24(1):16-31.

[29] 曾妍妍,周殷竹,周金龙,等.新疆喀什地区西部地下水质量现状评价[J].新疆农业大学学报,2016,39(2):167-172.[Zeng Yanyan, Zhou Yanzhu, Zhou Jinlong, et al. Assessment of groundwater quality status in western Kashgar, Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2016,39(2):167-172.]

[30] Zhang X W, He J T, He B N, et al. Assessment, formation mechanism, and different source contributions of dissolved salt pollution in the shallow groundwater of Hutuo River alluvial-pluvial fan in the North China Plain[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019,26(35):35742-35756.

[31] Liu X, Wang Y, Li Y, et al. Multi-scaled response of groundwater nitrate contamination to integrated anthropogenic activities in a rapidly urbanizing agricultural catchment.[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019,26(34):34931-34942.

[32]林丽,曾妍妍,周金龙.塔里木盆地平原区深层承压水咸化成因分析[J].人民黄河,2017,39(5):72-75.[Lin Li, Zeng Yanyan, Zhou Jinlong. Cause analysis of salinization of deep confined water in Tarim Basin Plain[J]. Yellow River, 2017,39(5):72-75.]

Distribution and cause analysis of groundwater TDS in the plain of Kashgar River Basin of Xinjiang

WANG Hong-tai[1], ZHOU Jin-long[1,2], ZENG Yan-yan[1,2],
ZHANG Jie[1,2], WEI Xing[1,2], CHEN Jin-song

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, *Xinjiang, China;Xinjiang Hydrology and Water Resources Engineering Research Center, Urumqi* 830052, *Xinjiang, China)*

Abstract: Based on the results of 74 groups of groundwater quality detected in 2014 in the plain of Kashgar River Basin of Xinjiang, the Kriging interpolation method, Gibbs diagram, ion ratio method and mineral saturation index method were used to reveal the distribution characteristics and genesis of TDS in groundwater. The results showed that the TDS is between 354.80~6505.00 mg·L^{-1} in phreatic water, the average value is 1994.36 mg·L^{-1}, no salt water distribution, the distribution pattern is high in the west and low in the east, and the water chemical type are mainly SO_4·Cl-Na·Ca·Mg, HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg and HCO_3·SO_4-Ca·Mg. The TDS in confined water is relatively high, between 214.00~14548.00 mg·L^{-1}, with the average value of 2480.30 mg·L^{-1}, the distribution pattern of confined water is generally high in the south and low in the north, the types of water chemistry are mainly SO_4·Cl-Na·Ca·Mg, HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg and SO_4-Na·Ca·Mg. The main mechanisms controlling the TDS of groundwater in this area are physical geography factors, rock weathering, evaporation and concentration, dissolution of minerals, human activities.

Key word: groundwater; TDS; evaporation and concentration; dissolution of minerals; Kashgar River Basin; Xinjiang